

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



C1-03

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO UTILIZANDO HERRAMIENTAS SIG: CUENCA DEL RÍO YPANÉ

J. VALLEJOS*
ANDE; Administración Nacional de Electricidad
PARAGUAY

E. BORTONI
UNIFEI; Universidade Federal de Itajubá
BRASIL

Resumen *– El sector eléctrico es de importancia estratégica en el desarrollo del Paraguay, con una previsión media del crecimiento de la demanda de 9,5% en los próximos 4 años. Según referencias la demanda actual, entorno a los 2500 MW en el año 2013, representa un 20% de la oferta de energía eléctrica producida actualmente en el país.*

La creciente demanda de energía eléctrica del país, unida a las limitaciones de la generación centralizada de electricidad en los entes binacionales de ITAIPU y YACYRETA hace posible la búsqueda de nuevos medios para proporcionar un uso más eficiente de la energía a nivel local. En este contexto, se incluyen las Centrales Generadoras Hidroeléctricas (CGH) y Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), que pueden ayudar en el suministro de la demanda energética del país, por presentan ventajas sobre generación central de energía y economía en las inversiones en transmisión y reducción de las pérdidas de transmisión en los sistemas eléctricos de potencia, y mejorar la estabilidad del servicio de energía eléctrica. Además, también tienen beneficios ambientales porque utilizan una fuente renovable de energía, operan a pelo de agua por lo que tienen pequeños embalses, una construcción más rápida y otras características que causan menor impacto al medio ambiente.

Según el informe del Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe, realizado por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y la Organización de las Naciones Unidas para Desarrollo Industrial (ONUDI), se desprendió que más allá de la rentabilidad económica de las PCHs, estos proyectos pueden colaborar como catalizadores para crear sinergias entre las comunidades beneficiarias e instituciones del Estado, aportando recursos y destrezas a los habitantes y abriendo así posibilidades de desarrollo humano sustentable donde anteriormente no era posible, siendo sus principales atributos:

a) Reducción del impacto en el Cambio Climático a través de la disminución de las emisiones industriales y promoviendo el uso de tecnologías de energías renovables.
b) Incremento de la viabilidad de las empresas, particularmente en áreas rurales, al aumentar la disponibilidad de las energías renovables para usos productivos.

* jose_vallejos@ande.gov.py

El presente trabajo tiene por finalidad identificar y analizar la viabilidad de emprendimientos de pequeño porte para la generación de energía eléctrica, comúnmente llamadas PCH, en la Cuenca del Río Ypané de la Región Oriental del Paraguay, a partir de datos satelitales por medio de la aplicación del método de la ventana móvil, metodología desarrollada para la identificación de potenciales hidroeléctricos, a partir de caudal y altura de caída utilizando herramientas SIG (Sistema de Información Geográfica)

Palabras clave: SIG-Sistema de Información Geográfica, PCH-Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Potencial Hidroenergético

1 INTRODUCCIÓN.

Se estima que el potencial de generación hidroeléctrica de las cuencas del Paraguay oscila alrededor de los 25.000 MW [1]. Por ello, y tomando en cuenta que los recursos hídricos son recursos renovables con poca carga ambiental en el calentamiento global, y por ser más económicos en el largo plazo, en el Paraguay la política básica es desarrollar este abundante recurso como fuente de generación eléctrica.

Basado en dicho principio, en el Paraguay se realiza el desarrollo de la hidroeléctrica de Itaipú (14.000 MW) conjuntamente con el Brasil, y la hidroeléctrica de Yacyreta – Aña Cuá (3.470 MW) conjuntamente con la Argentina. Además, el Paraguay posee las centrales hidroeléctricas de Acaray (252 MW) y la actualmente en construcción Yguazú (200 MW) que fueron desarrolladas en forma independiente. Con el parque de generación mencionado y en base a la proyección de la demanda de energía eléctrica, a partir del año 2025 se estaría teniendo déficit en el Margen de Reserva de Generación, por lo que las construcciones de obras adicionales de Generación deberían ser iniciadas durante el periodo del Plan Maestro de Generación y Transmisión 2014-2023 de la ANDE [2], esto se puede apreciar en la siguiente figura.

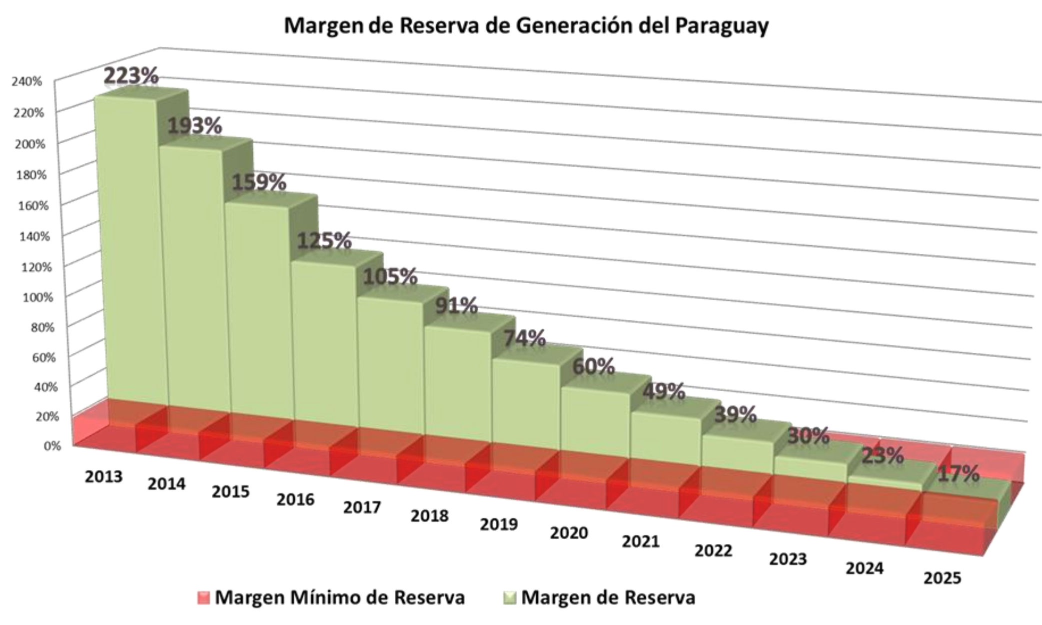


Fig. 1. Margen de Generación del Paraguay.

También se tienen en perspectiva en el largo plazo el desarrollo conjuntamente con la Argentina de las hidroeléctricas de Corpus Christi (2.880 MW) e Itacorá (2.880 MW) con lo que se tendría explorado el desarrollo de 24.082 MW en proyectos convencionales de Centrales Hidroeléctricas de gran porte.

Restaría así un potencial de generación hidroeléctrica aproximado de 918 MW que podría ser explotado por las denominadas PCH (potencia entre 1 MW y 150 MW por central) y Micro Centrales Hidroeléctricas (MCH) (potencia inferior a 1 MW por proyecto), que pueden ayudar en el suministro de la demanda energética del país, por presentan ventajas sobre generación central de energía y economía en las inversiones en transmisión y reducción de las pérdidas de transmisión en los sistemas eléctricos de potencia, y mejorar la estabilidad del servicio de energía eléctrica.

Frente a las dificultades para encontrar potenciales hidroeléctricos, el presente trabajo propone un modelo para la investigación de potenciales hidroeléctricos que se basa en herramientas SIG, con el fin de ayudar en la toma de decisiones, proporcionando agilidad y resultados efectivos.
El modelo propuesto se aplicó a la cuenca del Río Ypané. Los resultados muestran que, además de localizar espacialmente los potenciales calculados en el curso de agua, la metodología genera información sobre el tipo de disposición, la extensión del embalse requerido y el desvío del río permitirá en una segunda etapa un análisis preliminar del tipo de máquina hidráulica que mejor se adapte al potencial identificado

2 METODOLOGÍAS DE ESTIMATIVAS DE POTENCIALES HIDROENERGÉTICOS.

2.1 Uso de herramientas SIG para inventario preliminar de potenciales hidroenergéticos.

Avila *et al.* [3] desarrollaron una metodología en el entorno SIG para determinar las áreas más adecuadas para la instalación de PCHs.
La determinación del potencial físico para la implantación de una PCH debería considerar la conjunción de algunos parámetros principales:

- Estimativa del caudal y
- La identificación del declive topográfico.

Para la aplicación de la metodología es necesario identificar los datos del caudal a lo largo del curso de agua obtenidos de los estudios de regionalización, y obtener el área específica contribución a partir de la imagen generada por el Modelo Digital del Terreno (MDT).
El uso de cascadas para la implementación de PCHs se realiza considerando dos situaciones fisiográficas:

- El declive topográfico durante el curso del río, que utilizaría cascadas naturales;
- El declive en las márgenes del río, lo que permite el uso de áreas con grandes gradientes desde el desvío de la curso del agua.

Para estas situaciones, el autor desarrolla algoritmos específicos para su cálculo. El cruce de los datos de caudales y de declives topográficos medios permite identificar los mejores sitios para la implantación de PCHs y analiza la necesidad de hacer desvíos del curso de agua.
La metodología presentada, a pesar de localizar preliminarmente el potencial hidráulico del río, posee algunas limitaciones, siendo una de ellas la relacionada al uso de MDTs, que son generados a partir de digitalización de cartas topográficas, que repercute en:

- Demora en la obtención de los resultados, especialmente cuando se trata de extensas áreas de drenaje
- Potenciales no identificados en función de la escala de la carta topográfica, que en determinadas regiones del país, solamente se cuenta con escalas 1:250.000 o inclusive 1:1.000.000

Un SIG es un sistema de asistencia por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Actualmente una gran variedad de herramientas de software están disponibles para ayudar en esta actividad, como es el caso de ArcGIS, Idrisi, Spring, Global Mapper y otros.
El SIG es una herramienta muy útil como ayuda para la toma de decisiones, en el caso del sector eléctrico, que cada día requiere de estudios en donde la base de datos espacial es de importancia fundamental.
Los estudios realizados en Portugal [4], por la Agencia de la Energía, han elaborado una base de datos espacial utilizando la herramienta SIG, con el objetivo de identificar los sitios de emplazamiento de PCHs.

2.2 Regionalización de Caudales.

La regionalización de caudales tiene como objetivo llevar la información de un punto geográfico a una zona sin datos o con datos escasos, pero con comportamiento hidrológico similar. Esto es posible porque hay procesos con comportamiento similar que puede ser identificado a través de las relaciones entre las variables y los parámetros hidrológicos y estadísticas de los sistemas hídricos que son espacialmente similares.
El estudio realizado por Peixoto [7] muestra los pasos a seguir en el trabajo de aplicación de la metodología.
El primer paso de la aplicación de la metodología es la selección y el análisis de datos, que consiste en el análisis de la información hidrológica obtenida de las estaciones pluviométricas y fluviométricas aforadas en la cuenca de referencia para estimar variables en lugares sin datos.
Los sitios de las estaciones fluviométricas se pueden seleccionar de acuerdo con algunos criterios, tales como:

- Disponibilidad de caudal;
- Alteraciones en series hidrológicas;
- Serie de al menos diez años de datos;
- Consistencia de las coordenadas geográficas de las estaciones;
- La distribución espacial de las estaciones que conforman la red hidrométrica básica debe proporcionar una cobertura satisfactoria de la cuenca de estudio.

Realizado el inventario y selección de estaciones de interés, los datos de caudales medios diarios se deben obtener, así como cotas medias diarias, mediciones de descargas líquidas, caudales mensuales y anuales.

El régimen de caudales de una cuenca hidrográfica consiste en el análisis de las diversas características fisiográficas. Sin embargo, en general, son las condiciones climáticas las que definen la distribución espacial y temporal de régimen de precipitación sobre la cuenca, donde el análisis de los regímenes de lluvias es de fundamental importancia en el estudio de la regionalización.

Al igual que en las estaciones fluviométricas aforadas, es necesario adoptar un criterio para la selección de las estaciones pluviométricas para poder realizar el análisis de los datos de lluvia. El primer paso consiste en el análisis de las series temporales de datos de las estaciones en un diagrama de barras anual, lo que permite la visualización de los períodos de los datos y la eliminación de estaciones pluviométricas con muchos errores de medición.

Con los puestos pluviométricos seleccionados para el estudio, se pueden realizar hietogramas de precipitación total mensual y anual promedio en la cuenca de interés, y por lo tanto los años más y menos lluvioso, y el precipitado total para cada período. Para facilitar la visualización de esta información, se puede generar un mapa de isohietas, que tiene como objetivo visualizar la distribución espacial de la precipitación sobre la cuenca.

El siguiente paso es la selección y análisis de datos y la estimación de los valores característicos de la cuenca hidrológica, como el caudal promedio de largo plazo, el caudal máximo asociado con un tiempo de respuesta de interés, caudal mínimo de duración de 7 días y periodo retorno de 10 años, el caudal asociado con un 95%.

El uso de valores medios regionales de variables como indicadores es útil para verificar que los resultados de los estudios específicos se encuentran dentro del orden de magnitud de una región en particular y para permitir una primera estimación de los usos y el control de los recursos hídricos en lugares sin datos.

Para el estudio se utilizó la base de datos de la cuenca del río Apa, sistematizada por la Agencia Nacional de Aguas del Brasil [8].

3 METODOLOGÍA.

La metodología propuesta por Peixoto [9] se trata de una herramienta capaz de identificar y localizar de forma rápida y eficaz, el potencial hidroenergético de un río, de forma semi-automática, con las siguientes características:

- Tipo de arreglo de la PCH – De desvío o Represamiento
- La potencia del aprovechamiento
- Longitud del desvío del río y del trecho de Caudal Ecológico
- Tamaño del embalse
- Si el embalse o el desvio son muy extensos, pudiendo representar un factor de peso en por el impacto ambiental

Esta información asiste a la toma de decisiones, antes incluso de iniciar visitas al campo.

Para la evaluación del potencial hidroeléctrico de una cuenca, primero debe tomarse en cuenta las variaciones de caudal y salto, de las que depende la potencia eléctrica conforme a la siguiente ecuación:

$$P = g.\rho.10^{-3}.\eta_T.\eta_G.Q.H \qquad (1)$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, ρ es la masa específica del agua, η_T es el rendimiento de la turbina, η_G es el rendimiento del grupo generador, Q es el caudal medio regionalizado o caudal de proyecto y H es el salto disponible.
Conociendo las variables de entrada, la evaluación sistemática del potencial hidroeléctrico se puede dividir en pasos, como se describe a continuación.

3.1 Recopilación de datos básicos.

En este paso debe ser elevada la información relacionada con el caudal y los saltos en toda la longitud del río. Para la primera variable, esta metodología utiliza el modelo Digital del Terreno (MDT), que almacena la altitud de la región (superficie) en estudio.
Se han utilizado mapas topográficos de Aster GDEM, se plantean diferentes puntos a lo largo del curso de agua, las áreas respectivas del drenaje y basado en técnicas de regionalización de los flujos, los caudales medios asociados.
Se deben conseguir puntos cercanos, antes y después, de las bocas de los tributarios con el fin de evitar errores significativos relevantes de aproximación de caudal en cada punto estudiado, considerando que de esta manera, las principales aportes de caudal a lo largo del curso de agua.

3.2 Análisis de la cuenca.

Haciendo uso de software de geoprocesamiento y cartas topográficas disponibles se torna posible generar capas (*layers*) indicando la vaguada del río y afluentes principales. Otras capas como la ubicación de las ciudades, las áreas de protección del medio ambiente, las reservaciones indias, acceso, etc., pueden generarse para ayudar en el análisis de la viabilidad de potencial, si no existe dicha información para el sitio de estudio.
De esta manera se obtiene una figura como la siguiente:

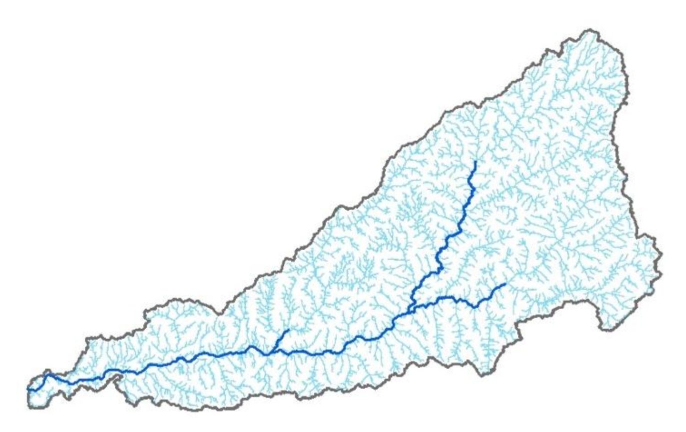


Fig. 2. Diagrama de la Cuenca del río Ypane

3.3 Determinación del perfil longitudinal del río y estimación del potencial hidráulico.

La metodología utilizada generalmente para el levantamiento del perfil longitudinal del río es la medición de distancias entre los contornos topográfica (L) y la variación de dimensión entre ellos (H), por medio del uso de software de geoprocesamiento hasta obtener el Perfil longitudinal del río.
Se comienza desde la cabecera del río hasta el punto más lejano río abajo, calculando las áreas de drenaje. Los caudales disponibles serán directamente proporcionales a las áreas, ya que se considera el caudal específico constante.
Se obtienen así las curvas Perfil Longitudinal del Río y Potencial Hidráulico, tal como se indica en la siguiente figura:

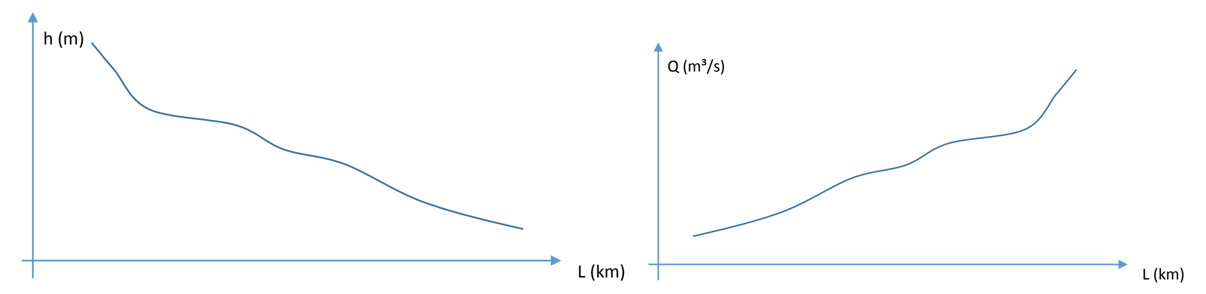


Fig. 3. Curvas de Perfil Longitudinal del Rio y Potencial Hidráulico

3.4 Estimación del Potencial Hidroeléctrico.

Posteriormente se realiza un barrido de todo el perfil del rio, tomando una longitud fija L como ventana móvil que permite evaluar el Potencial Hidroeléctrico en todo el perfil del río, tal como se indica en la figura:

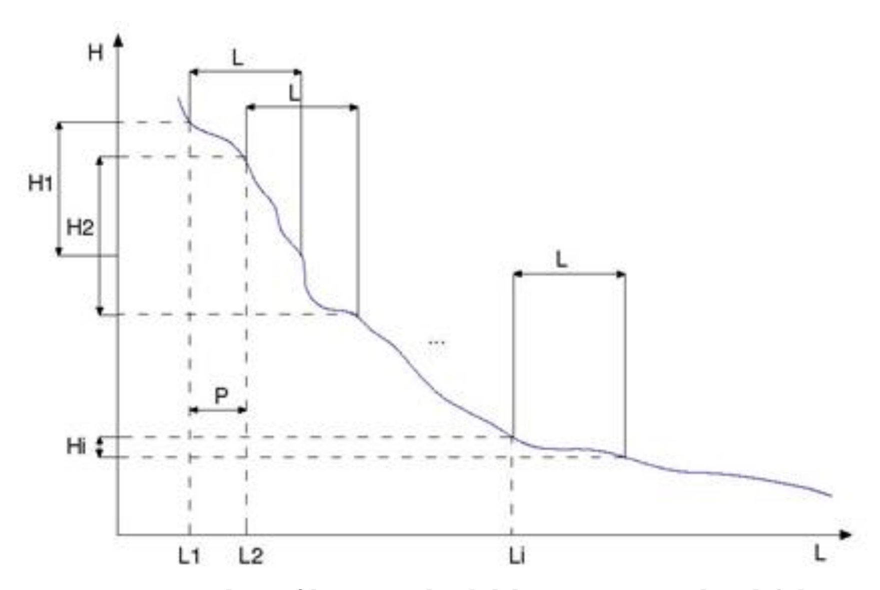


Fig. 4. Curvas de Perfil Longitudinal del Rio y Potencial Hidráulico

4 RESULTADOS

Para una primera estimación del Potencial Hidroenergético del Río Ypane se tomaron varias simplificaciones, tales como: A falta de datos se asumió el Caudal Especifico del Río Apa, aplicando la metodología de regionalización de caudales; La escasa presencia de meandros en el trazado del Rio Ypane, desestimó la posibilidad de emplazamientos de PCHs del tipo de *Desvío Curso de Agua*; Por las características topográficas de la Cuenca del Ypane, se verifico que el espejo de agua de posibles emplazamientos de PCHs del tipo de Represamiento, son prácticamente proporcionales en relación uno a uno con la longitud del embalse sobre el trazado del rio; Se toma como referencia para PCHs el límite de Área de espejo de Agua de 13 km2, conforme a directrices de la Eletrobras [9].
Aplicando la metodología con una ventana móvil de 3,5 km, 5 km, 7,5 km y 10 km se determinaron los siguientes gráficos:

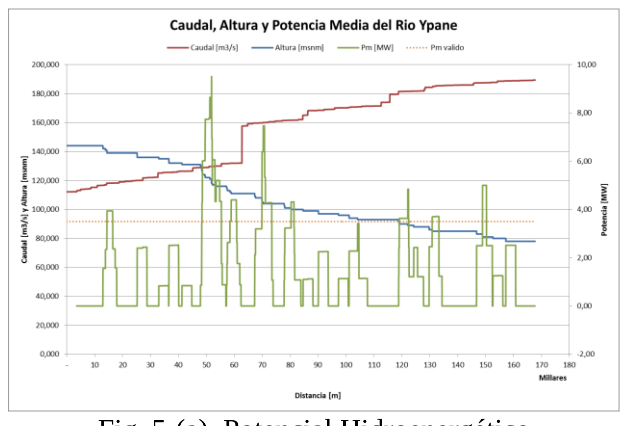


Fig. 5-(a). Potencial Hidroenergético
con L = 3,5 km

Fig. 5–(b). Potencial Hidroenergético
con L = 5 km

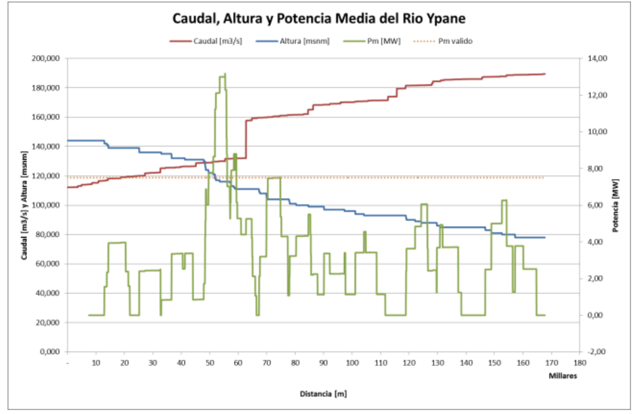


Fig. 6-(a). Potencial Hidroenergético
con L = 7,5 km

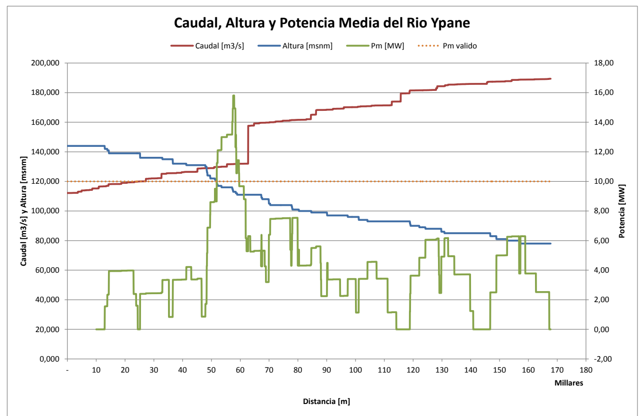


Fig. 6–(b). Potencial Hidroenergético
con L = 10 km

Combinando el máximo potencial de cada punto, de acuerdo a la ventana móvil adoptada finalmente se identifican 5 emplazamientos potenciales con una potencia media total de **41,37 MWmedios** y área inundada en torno a **28,5 km^2**, tal como se indica en la siguiente figura:

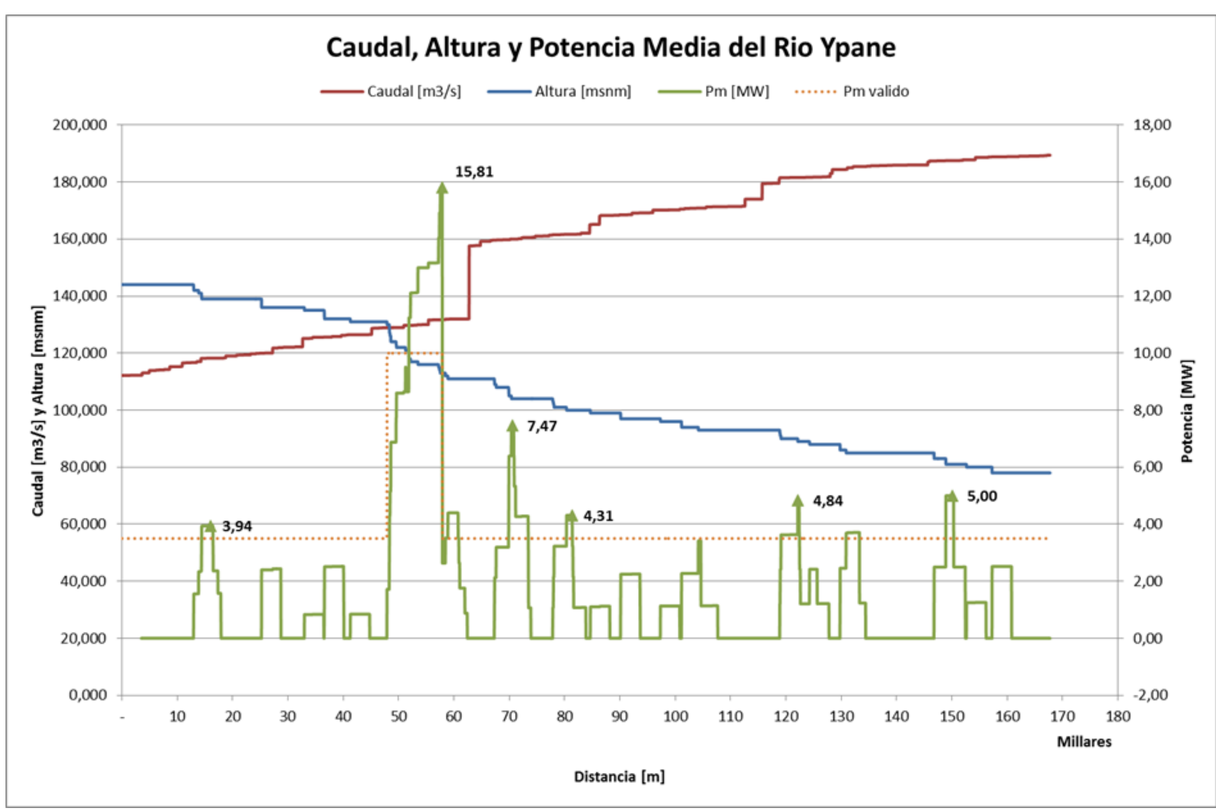


Fig. 7. Potencial Hidroenergético identificado en el Río Ypane.

5 CONCLUSIONES

Por medio del uso de herramientas SIG, y pese a los escasos datos hidrológicos existentes en la República del Paraguay, se ha podido identificar 5 posibles emplazamientos de PCHs en la cuenca del Rio Ypané, con un potencial estimado de **41,37 MWmedios** y área inundada en torno a **28,5 km^2**

Para la determinación del Inventario Hidroenergético de la Cuenca del Rio Ypané, se requiere entre varios aspectos de la consideración de restricciones, como ser reservas naturales, poblaciones urbanas, vías de comunicación, líneas de transmisión eléctrica, campos de cultivo, etc, y de mediciones en la cuenca mediante estaciones pluviométricas y fluviométricas aforadas de tal forma a contrastar el modelo producto de la metodología aplicada.

En relación con otras metodologías utilizadas con el mismo propósito, la metodología aplicada, tiene ventajas vinculadas principalmente a la agilidad del logro de resultados y garantía en la eficiencia en la identificación de Potenciales Hidroenergéticos, por lo que puede representar una herramienta sumamente útil en la determinación del Inventario Hidroenergético de la República del Paraguay

6 REFERENCIAS

[1] International Water Power & Dam Construction Year Book 2003
[2] Plan Maestro de Generación y Transmisión 2014-2023, ANDE, 2013
[3] Ávila, C.J.C.P., et al. Uso de ferramentas de SIG para inventário preliminar de potenciais remanescentes. Departamento de Geografia – Universidade de Brasília, 2007
[4] ADEME, Energie-Cités Splash Spatial Planning for Small Hydro, 2005
[5] Santos, et al. Diagnóstico Energético e Recomendações para a Geração de Energia Elétrica no Estado de Santa Catarina, Sistema CELESC, 2003
[6] ASTER GDEM http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/
[7] Primo, K. R.; Peixoto, A. S. P. Regionalização de vazões para a Bacia Hidrográfica do rio Sapucaí, Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, 2003
[8] Agencia Nacional de Aguas del Brasil http://www2.ana.gov.br/Paginas/ES/default.aspx
[9] Peixoto, A., Novas Tendências nos Estudos ne Potenciais Hidrelétricos: Metodologia ne Prospecção e Análise de Aproveitamentos com base em Sistema de Informação Geográfica –SIG, Universidade Federal de Itajubá, 2008

[10] Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Eletrobras, 2008